

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-090068

(43)Date of publication of application : 25.03.2004

(51)Int.Cl.

B23K 26/00  
// B23K103:04

(21)Application number : 2002-257195

(71)Applicant : NATIONAL INSTITUTE FOR  
MATERIALS SCIENCE  
ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY  
IND CO LTD

(22)Date of filing : 02.09.2002

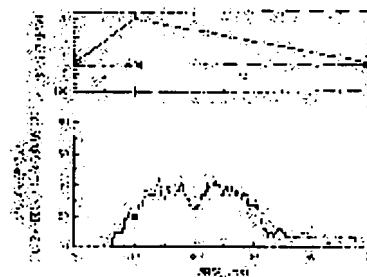
(72)Inventor : TSUKAMOTO SUSUMU  
KAWAGUCHI ISAO  
ARAKANE GORO  
HONDA HIROSHI

## (54) LASER WELDING PROCESS

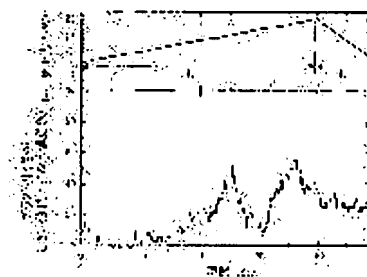
### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To simply determine an optimal power modulation waveform and frequency when a flaw is prevented by modulating laser power with a suitable waveform.

SOLUTION: The optimal waveform and frequency are determined so as to minimize a condition by detecting the condition that generation intensity of plasma or a plume produced on laser welding becomes equal to a certain threshold level or below.



(a)  $f_m = 10 \text{ kHz}$ ,  $\omega = 10 \text{ ms}$



(b)  $f_m = 10 \text{ kHz}$ ,  $\omega = 10 \text{ ms}$

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

22.07.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]

The laser-welding approach characterized by to determine the optimal wave of an output modulation, and optimum frequency so that this condition may serve as min in the specific phase of an output modulated wave form by setting a threshold as time-amount change of the plasma or the luminescence reinforcement of a plume, and detecting the condition that luminescence reinforcement becomes below a threshold, in the laser-welding approach of preventing generating of a weld flaw by the modulation of the laser output accompanied by wave control.

[Claim 2]

The laser-welding approach characterized by detecting only what maintained beyond the time amount to which the condition that luminescence reinforcement became below a threshold was set.

[Claim 3]

The laser-welding approach that the condition that luminescence reinforcement becomes below a threshold in the approach of claims 1 or 2 is characterized by detecting whether frequency is the highest with which phase of an output modulated wave form.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

Invention of this application relates to the laser-welding approach. In laser welding which prevents generating of weld flaws, such as porosity, a blowhole, and a crack, it is related with the new laser-welding approach which can optimize a frequency in a wave list simple by giving fluctuation on a frequency to the still more detailed wave [ with appropriate invention of this application ] list for a laser output.

[0002]

[The technical problem of a Prior art and invention]

In recent years, high power-ization of a laser oscillator progresses by leaps and bounds, and applying this to \*\*\*\*\* and high-speed welding is expected. However, it becomes difficult to maintain to stability the keyhole formed in the laser radiation section, and it becomes easy to generate weld flaws, such as porosity, a blowhole, and a crack, based on this as penetration becomes deep. For this reason, in order to apply a laser-welding technique to wide range ingredient processing containing structure material etc., the technique of preventing a weld flaw certainly is indispensable. On the other hand, by changing a laser output on the frequency which was in agreement with the natural frequency of a molten pool, and controlling that wave appropriately, the artificers of this application developed the technique of preventing weld flaws, such as porosity, a blowhole, and a crack, effectively, and did patent application of this (application for patent 2001-77298).

[0003]

Drawing 1 of the attached drawing is drawing having shown typically fluctuation of the laser output in the approach of this laser welding.

[0004]

However, in this approach that artificers have already proposed, since it was greatly dependent on the frequency of an output modulation, and a wave, the prevention effectiveness of a weld flaw needed to conduct preliminary experiment under various waves and a frequency beforehand as a policy for optimizing these, and for means, such as radioparency photography, to investigate the generating situation of the porosity at this time, and to determine optimum conditions. For this reason, such a procedure and the policy had the problem that it was not realistic necessarily simple and easy.

[0005]

Then, the description of the laser-welding approach that the artificers as above-mentioned proposed invention of this application, Namely, the conventional trouble is canceled for a thing that it prevents effectively by fluctuating a laser output on the frequency which was in agreement with the natural frequency of a molten pool in the weld flaw generated at the time of \*\*\*\*\* laser welding, and controlling the wave appropriately. It is making into the technical problem to offer the new laser-welding approach that it is realizable by determining an optimal output modulated wave form and a frequency simple.

[0006]

[Means for Solving the Problem]

Invention of this application as what solves the above-mentioned technical problem to the 1st In the laser-welding method for preventing a weld flaw effectively by the output modulation of the laser accompanied by wave control By preparing a threshold in time amount change of the plasma or the luminescence reinforcement of a plume, and detecting the condition that luminescence reinforcement becomes below a threshold The laser-welding approach characterized by determining optimum frequency as the optimal wave list of the output modulation from which this condition serves as min in the specific phase of an output modulated wave form is offered.

[0007]

Moreover, by detecting only what is maintained beyond the time amount by which the condition that the plasma or the luminescence reinforcement of a plume became below a threshold was set as the 2nd The above-mentioned laser-welding approach of determining optimum frequency as the optimal wave list of an output modulation is offered. To the 3rd The condition that the luminescence reinforcement of the plasma or plume detected by the above approach becomes below a threshold offers the laser-welding approach of determining optimum frequency as the optimal wave list of an output modulation, by detecting whether frequency is the highest with which phase of an output modulated wave form.

[0008]

By measuring the luminescence reinforcement of the plasma or plume generated from a laser radiation location, invention of this application as above is a short time easily, and makes it possible to perform optimization of the modulated wave form of a laser output, and a frequency.

[0009]

This is realized based on the result of examination by the artificer of this following application.

[0010]

Namely, the artificer of this application observed the dynamic behavior of a keyhole by the high-speed photography of radiolucent finding at the time of laser welding, in order to clarify the molding machine style of porosity. According to it, even if it welds under output regularity, a keyhole is sharply changed at random in the depth direction and the direction of a path. When it is greatly related to the oscillation of such a keyhole and the keyhole depth falls rapidly, a keyhole head dissociates according to an instability phenomenon, air bubbles are formed, and generating of porosity serves as porosity, when this remains. Moreover, in case rapid lowering of the keyhole depth takes place, the oscillation of the direction of a path of a keyhole is large, namely, if turbulence of a keyhole is large, it will become easy to generate porosity. For this reason, if turbulence of the direction of a path of a keyhole is detectable, the conditions which do not cause turbulence at the time of loss of power can be found easily, and optimization of the conditions which prevent porosity effectively can be performed easily.

[0011]

When drawing 2 is detected by the photosensor (2) which installed luminescence of the plasma or plume (1) generated in the laser-welding section around the weld zone although the method of determining the optimum conditions in invention of this application was illustrated and this is recorded on a recording device (3) synchronizing with change of a laser output, the lightwave signal detected by the sensor is shown like drawing 3. And in a lightwave signal, as \* showed all over drawing, the phenomenon in which luminescence stops for a while can see here and there. since the interaction of laser and molten metal is lost inside a keyhole immediately after the molten metal of a large quantity spouts this from the interior of a keyhole -- evaporation -- short-time blocking \*\*\*\* -- things are shown and the blowout of big molten metal by this can be detected. Moreover, immediately after the blowout of such big molten metal takes place, the oscillation to the direction of a path of a keyhole becomes large. That is, turbulence of a keyhole becomes large.

[0012]

For this reason, in laser welding which gave the output modulation, if a wave and a frequency are chosen so that the phenomenon in which luminescence of the plasma and plume which were shown by \* stops may not happen to drawing 3 when an output declines and the keyhole depth falls, the optimum

conditions which prevent porosity can be determined. Then, as shown in drawing 3, the stage when the blowout stage of molten metal, i.e., the turbulence of a keyhole, happens is detected by giving the threshold of arbitration to a lightwave signal and detecting the field where signal strength is smaller than this. When the relation of the frequency where the phase and flashing caution signal of an output modulation become below a threshold is investigated and an output declines under various output modulation conditions, a frequency can be optimized in a modulated wave form list by choosing the conditions from which frequency serves as min.

[0013]

Such a decision approach of optimum frequency can be further made into accuracy by noise cut processing of a flashing caution signal, the operation of a signal, etc. For example, the phenomenon in which luminescence stops in accuracy more is detectable by intercepting the high frequency component of a flashing caution signal. Moreover, accuracy can be asked more for optimum frequency by the condition that the plasma or the luminescence reinforcement of a plume becomes below a threshold choosing only what is maintained beyond the setup time of arbitration, and detecting the time amount or frequency. Thus, since it is also possible to detect by ultrashort time amount on that spot at the time of laser welding, invention of this application can also be used as feedback control.

[0014]

[Embodiment of the Invention]

Although invention of this application has the description as above, it explains the gestalt of that operation below.

[0015]

Although it is necessary to detect the plasma for determining the optimum conditions for laser welding in invention of this application rather than anything, or the luminescence reinforcement of a plume as a signal, as a policy for it, the configuration of the detection equipment of drawing 2 is employable as aforementioned, for example. The sign in drawing has illustrated the plasma or a plume (1), a photodiode (2), the recorder (3), the laser beam (4), the parabolic mirror (5), and a weldment-ed (6) and a work table (7). And laser beam welding equipment is used apart from this equipment.

[0016]

And in invention of this application, the optimal wave for output fluctuation of laser beam welding equipment and optimum frequency will be determined based on the detection signal of detection equipment in this case. In addition, in invention of this application, the threshold about luminescence reinforcement can make it a rule of thumb whether to include the condition that it can judge with generally luminescence having stopped for a while although it could be arbitrary corresponding to the situation of welding.

[0017]

Then, an example is shown below, this is met and the gestalt of operation is explained in detail. Of course, invention is not limited by the following examples.

[0018]

[Example]

The PIDO-on plate performed output modulation partial-joint-penetration welding using common steel-for-welded-structure SM490A. Drawing 2 is the block diagram of the detection equipment of the optical reinforcement used on that occasion. The plasma or the luminescence reinforcement of a plume (1) was measured with the sampling frequency of 50kHz using Si photodiode (2) of the sensibility wavelength range of 190-1100nm, and (Si-PD). Si-PD was installed in the horizontal direction of the same level as a weldment-ed (5). The laser beam (4) was converged on the front face of a weldment-ed (6) with the parabolic mirror (5) with a focal distance of 500mm. The laser output applied the pulse modulation by the chopping sea with 20kW [ of peaking capacity ], and a base output of 8kW as drawing 4, and changed the rise time  $t_r$  and the fall time  $t_d$  of an output.

[0019]

The incidence rate of the porosity in various build up time was shown in drawing 4. The porosity incidence rate asked for the ratio of the gross area of porosity, and the melting cross section from the

radioparency photograph of the weld zone longitudinal section, and expressed this as the percentage. From this drawing 4, by wave control-output modulation welding, although it turned out that generating of porosity is remarkably controlled compared with the usual laser welding, it was checked that that prevention effectiveness is the largest in 40ms of 10ms falling time amount of build up time.

[0020]

Above-mentioned drawing 3 shows an example of the plasma flashing caution signal acquired at this time. As \* showed all over drawing, the phenomenon in which luminescence stops for a while can see the luminescence reinforcement of the plasma here and there. if this shows the condition that there is no interaction of laser and molten metal after [ said ] the molten metal of a large quantity spouts, as carried out and this happens at the time of reduction of the keyhole depth -- generating of a defect -- a lifting -- being easy .

[0021]

Drawing 5 shows time amount change and the plasma signal of the keyhole depth when welding in  $t_d=10\text{ms}$  which is not  $t_d=40\text{ms}$  and optimum conditions which have prevented the defect most effectively. According to the optimum conditions shown in drawing 5 (a), on the conditions which the defect shown in drawing 5 (b) generates to luminescence of the plasma always being seen in a part the second half in which the event of the keyhole depth decreasing, i.e., a laser output, decreases, when the keyhole depth decreases, the condition that the flashing caution signal of the plasma is set to about 0 at the time of output reduction continues. Therefore, becoming empty can judge the defective prevention effectiveness by whether there is much frequency where the flashing caution signal of the plasma is set to about 0 in the second half part of the time amount to which the event of depth of fusion falling, i.e., a laser output, decreases, or there not to be.

[0022]

Then, in order to erase the noise of the flashing caution signal of the plasma, after passing a 5kHz low pass filter, the threshold of 0.3V was set up, and the frequency which the condition that a plasma signal becomes small from this maintains 2ms or more was investigated for every Gentlemen phase. The result is shown in drawing 6. Drawing 6 (a) is a result in the optimum conditions which the defect has prevented most effectively, and its frequency where a flashing caution signal becomes below a threshold in the second half part of an output reduction period is small. The frequency which becomes below a threshold in the second half part of output reduction by high wave drawing 6 (b) of a defective incidence rate on the other hand is high as compared with the above (a). Therefore, the optimal wave which prevents a weld flaw can be determined by investigating the frequency where plasma luminescence in the second half part of output reduction becomes below a threshold.

[0023]

Although it has illustrated that it is optimal to be referred to as rise-time  $t_u=10\text{ms}$  of an output and fall-time  $t_d=40\text{ms}$  as pulse modulation by the chopping sea in the above example, that optimization and optimum frequency can be determined as various waves, without being restricted to this example.

[0024]

[Effect of the Invention]

In the weld flaw preventing method generated at the time of \*\*\*\*\* laser welding which the artificer has already proposed, the optimal output modulated wave form and frequency suitable for prevention can be determined easily, and it comes to be able to perform high quality welding of a thick plate simple by invention of this application as explained in detail above. High quality laser welding of the thick plate difficult thereby conventionally becomes possible, and laser-welding Field of application is expanded.

[0025]

It can be decided by the frequency now by ultrashort time amount simple that it will be an output modulated wave form list for it being defect-free in high efficiency, and welding a thick plate to it, and the cost reduction in a production line can be expected.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing having shown an example of a wave control pulse modulated wave form.

[Drawing 2] It is drawing which illustrated the configuration of the plasma or the detection equipment of the flashing caution signal of a plume.

[Drawing 3] It is drawing having shown the example of measurement of plasma luminescence reinforcement.

[Drawing 4] In the output modulation which carried out wave control, it is drawing which illustrated the rise time of a laser output, and the relation of a defective incidence rate.

[Drawing 5] It is drawing which illustrated the result of having measured a time change of the keyhole depth and plasma luminescence reinforcement under the wave which is not [ optimal being a wave and ] suitable.

[Drawing 6] They are the probability (frequency) for the luminescence reinforcement of the plasma to become below a threshold (0.3V), and drawing which illustrated the relation of the phase of pulse modulation.

[Description of Notations]

tu Rise time

td Fall time

1 Plasma or Plume

2 Photodiode

3 Recorder

4 Laser Beam

5 Parabolic Mirror

6 Weldment-ed

7 Work Table

---

[Translation done.]



(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-90068

(P2004-90068A)

(43) 公開日 平成16年3月25日(2004.3.25)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

B23K 26/00

// B23K 103:04

F1

B23K 26/00

B23K 26/00

B23K 26/00

B23K 103:04

310A

N

P

テーマコード(参考)

4E068

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2002-257195 (P2002-257195)  
 (22) 出願日 平成14年9月2日(2002.9.2)

(71) 出願人 301023238  
 独立行政法人物質・材料研究機構  
 茨城県つくば市千現一丁目2番1号  
 (71) 出願人 000000099  
 石川島播磨重工業株式会社  
 東京都千代田区大手町2丁目2番1号  
 (74) 代理人 100093230  
 弁理士 西澤 利夫  
 (72) 発明者 塚本 進  
 茨城県つくば市千現一丁目2番1号  
 独立行政法人物質・材料研究機構内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ溶接方法

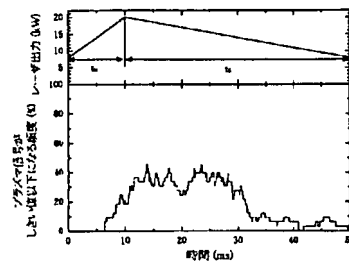
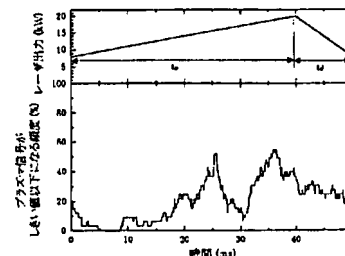
(57) 【要約】

【課題】 レーザ出力を適切な波形に変調することにより欠陥を防止する際に、最適な出力変調波形と周波数を簡便に決定する。

【解決手段】 レーザ溶接時に発生するプラズマもしくはフルームの発生強度がしきい値以下になる状態を検出して、この状態が最小となるように最適波形と最適周波数を決定する。

【選択図】

図 6

(a)  $t_r = 10\text{ms}$ ,  $t_d = 40\text{ms}$  (最適波形)(b)  $t_r = 40\text{ms}$ ,  $t_d = 10\text{ms}$

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

波形制御をともなうレーザ出力の変調により溶接欠陥の発生を防止するレーザ溶接方法において、プラズマもしくはフルームの発光強度の時間変化にしきい値を設定し、発光強度がしきい値以下になる状態を検出することにより、この状態が出力変調波形の特定の位相において最小となるように、出力変調の最適波形と最適周波数とを決定することを特徴とするレーザ溶接方法。

## 【請求項2】

発光強度がしきい値以下になる状態が設定された時間以上持続するものだけを検出することを特徴とするレーザ溶接方法。

10

## 【請求項3】

請求項1または2の方法において発光強度がしきい値以下になる状態が、出力変調波形のどの位相で最も頻度が高いかを検出することを特徴とするレーザ溶接方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

この出願の発明はレーザ溶接方法に関するものである。さらに詳しくは、この出願の発明は、レーザ出力に適切な波形並びに周波数で変動を付与することにより、ポロシティ、ブローホール及び割れ等の溶接欠陥の発生を防止するレーザ溶接において、簡便に波形並びに周波数の最適化を行うことのできる、新しいレーザ溶接方法に関するものである。

20

## 【0002】

## 【従来の技術と発明の課題】

近年、レーザ発振器の大出力化が飛躍的に進み、これを深溶込み・高速溶接へ適用することが期待されている。しかし、溶込みが深くなるにしたがい、レーザ照射部で形成されるキーホールを安定に維持することが困難となり、これに基づき、ポロシティ、ブローホール、割れなどの溶接欠陥が発生しやすくなる。このため、レーザ溶接技術を構造物などを含む広範囲な材料加工に適用するためには、溶接欠陥を確実に防止する技術が必要不可欠である。これに対して、この出願の発明者らは、溶融池の固有振動と一致した周波数でレーザ出力を変動し、かつその波形を適切に制御することにより、ポロシティ、ブローホール及び割れ等の溶接欠陥を効果的に防止する技術を開発し、これを特許出願した（特願2001-77298）。

30

## 【0003】

添付した図面の図1は、このレーザ溶接の方法におけるレーザ出力の変動を模式的に示した図である。

## 【0004】

しかしながら、発明者らがすでに提案しているこの方法においては、溶接欠陥の防止効果は出力変調の周波数及び波形に大きく依存することから、これらを最適化するための方策として、あらかじめ種々の波形及び周波数の元で予備実験を行い、このときのポロシティの発生状況をX線透過撮影等の手段により調べ、最適条件を決定することが必要であった。このため、このような手順、方策は現実的には必ずしも簡便、容易ではないという問題があった。

40

## 【0005】

そこで、この出願の発明は、上記のとおり発明者らが提案したレーザ溶接方法の特徴、すなわち、深溶込みレーザ溶接時に発生する溶接欠陥を、溶融池の固有振動と一致した周波数でレーザ出力を変動させ、かつ、その波形を適切に制御することによって効果的に防止することとを、従来の問題点を解消して、簡便に、最適出力変調波形や周波数を決定することによって実現することのできる、新しいレーザ溶接方法を提供することを課題としている。

## 【0006】

## 【課題を解決するための手段】

50

この出願の発明は、上記の課題を解決するものとして、第1には、波形制御をともなうレーザの出力変調により溶接欠陥を効果的に防止するレーザ溶接法において、プラズマもしくはフルームの発光強度の時間変化にしきい値を設け、発光強度がしきい値以下になる状態を検出することにより、この状態が出力変調波形の特定の位相において最小となる出力変調の最適波形並びに最適周波数を決定することを特徴とするレーザ溶接方法を提供する。

#### 【0007】

また、第2には、プラズマもしくはフルームの発光強度がしきい値以下になる状態が設定された時間以上持続するものだけを検出する事により、出力変調の最適波形並びに最適周波数を決定する上記のレーザ溶接方法を提供し、第3には、以上の方法により検出したプラズマもしくはフルームの発光強度がしきい値以下になる状態が、出力変調波形のどの位相で最も頻度が高いかを検出することにより、出力変調の最適波形並びに最適周波数を決定するレーザ溶接方法を提供する。

10

#### 【0008】

以上のとおりこの出願の発明は、レーザ照射位置から発生するプラズマもしくはフルームの発光強度を計測することによって、容易に短時間で、レーザ出力の変調波形と周波数の最適化を行うことを可能としている。

#### 【0009】

このことは、次のようなこの出願の発明者による検討の結果を踏まえて実現されたものである。

20

#### 【0010】

すなわち、この出願の発明者は、ポロシティの形成機構を明らかにするために、レーザ溶接時にキーホールの動的な挙動をX線透過像の高速度撮影により観察した。それによると、出力一定の元で溶接を行っても、キーホールは深さ方向及び径方向にランダムに大きく変動する。ポロシティの発生はこのようなキーホールの振動と大きく関係し、キーホール深さが急激に低下するときに、キーホール先端が不安定現象により分離して気泡が形成され、これが残留することによりポロシティとなる。また、キーホール深さの急激な低下が起こる際に、キーホールの径方向の振動が大きい、すなわちキーホールの乱れが大きいと、ポロシティが発生しやすくなる。このため、キーホールの径方向の乱れを検出できれば、出力低下時に乱れを起こさない条件を容易に見つけることができ、ポロシティを効果的に防止する条件の最適化が容易に行えることになる。

30

#### 【0011】

図2は、この出願の発明における最適条件の決定法を例示したものであるが、レーザ溶接部で発生するプラズマもしくはフルーム(1)の発光を溶接部周辺に設置した光センサー(2)で検出し、レーザ出力の変化と同期してこれを記録装置(3)に記録すると、センサーで検出した光信号は例えば図3のように示される。そして光信号には、図中に\*で示したように、発光がしばらく途絶える現象が随所で見受けられる。これは、キーホール内部から大量の溶融金属が噴出した直後にキーホール内部でレーザと溶融金属の相互作用がなくなるために蒸発が短時間途絶えることを示しており、これにより大きな溶融金属の噴出を検出することができる。またこのような大きな溶融金属の噴出が起こった直後には、キーホールの径方向への振動が大きくなる。すなわち、キーホールの乱れが大きくなる。

40

#### 【0012】

このため、出力変調を付与したレーザ溶接では、出力が低下しキーホール深さが低下する時点において、図3に\*で示したプラズマ及びフルームの発光が途絶える現象が起こらないように波形及び周波数を選択すれば、ポロシティを防止する最適条件を決定することができる。そこで、図3に示すように、光信号に任意のしきい値を与え、これよりも信号強度が小さい領域を検出することにより、溶融金属の噴出時期すなわちキーホールの乱れが起こる時期を検出する。種々の出力変調条件下で、出力変調の位相と発光信号がしきい値以下になる頻度の関係を調べ、出力が低下する時点で頻度が最小となる条件を選択することにより、変調波形並びに周波数の最適化が行えることになる。

50

## 【0013】

このような最適周波数の決定方法は、発光信号のノイズカット処理、信号の演算等によってさらに正確にすることができ、たとえば、発光信号の高周波成分を遮断することにより、より正確に発光が途絶える現象を検出することができ、また、プラズマもしくはフルームの発光強度がしきい値以下になる状態が任意の設定時間以上持続するものだけを選択し、その時間もしくは頻度を検出することにより、より正確に最適周波数を求めることができる。このようにして、この出願の発明は、レーザ溶接時にその場で極短時間で検出することも可能なため、フィードバック制御として用いることもできる。

## 【0014】

## 【発明の実施の形態】

この出願の発明は以上のとおりの特徴をもつものであるが、以下にその実施の形態について説明する。

## 【0015】

なによりもこの出願の発明においては、レーザ溶接のための最適条件を決定するためのプラズマもしくはフルームの発光強度を信号として検知することが必要になるが、このための方策としては、たとえば前記のとおり、図2の検出装置の構成を採用することができる。図中の符号は、プラズマもしくはフルーム(1)、フォトダイオード(2)、記録計(3)、レーザビーム(4)、放物面鏡(5)、そして被溶接物(6)とワークテーブル(7)を例示している。そして、この装置とは別に、レーザ溶接装置が用いられる。

## 【0016】

そして、この出願の発明では、この際に、検出装置の検知信号に基づいて、レーザ溶接装置の出力変動のための最適波形と最適周波数が決定されることになる。なお、この出願の発明においては、発光強度についてのしきい値は、溶接の状況に対応して任意であってよいが、一般的には、発光がしばらく途絶えたと判定できる状態を含んでいるかどうかを目安とすることができ、

## 【0017】

そこで、以下に実施例を示し、これにやって実施の形態を詳しく説明する。もちろん以下の例によって発明が限定されることはない。

## 【0018】

## 【実施例】

一般溶接構造用鋼SM490Aを用いて、ビードオンプレートにより出力変調部分溶込み溶接を行った。図2はその際に使用した光強度の検出装置の構成図である。プラズマまたはフルーム(1)の発光強度を感度波長範囲190~1100nmのSiフォトダイオード(2)(Si-PD)を使ってサンプリング周波数50kHzで計測した。Si-PDは、被溶接物(5)と同一レベルの水平方向に設置した。レーザビーム(4)は、焦点距離500mmの放物面鏡(5)により被溶接物(6)の表面に収束した。レーザ出力は、図4のとおり、ピーク出力20kW、ベース出力8kWの三角波によるパルス変調をかけ、出力の立ち上がり時間 $t_u$ および、立ち下り時間 $t_d$ を変化させた。

## 【0019】

図4には、各種立ち上がり時間におけるポロシティの発生率を示した。ポロシティ発生率は、溶接部縦断面のX線透過写真からポロシティの総面積と溶融断面面積の比を求め、これを百分率で表示した。この図4より、波形制御出力変調溶接では、通常のレーザ溶接と比べてポロシティの発生が著しく抑制されていることがわかるが、その防止効果は、立ち上がり時間10ms立ち下り時間40msにおいて最も大きいことが確認された。

## 【0020】

前出の図3はこのときに得られたプラズマ発光信号の一例を示している。プラズマの発光強度は、図中に\*で示したように、発光がしばらく途絶える現象が随所で見受けられる。これは、前記したように、大量の溶融金属が噴出した後にレーザと溶融金属の相互作用がない状態を示しており、これがキーホール深さの減少時に起こると欠陥の発生を起こしやすい。

10

20

30

40

50

## 【0021】

図5は、最も効果的に欠陥が防止できた $t_u = 40 \text{ mS}$ 及び最適条件でない $t_d = 10 \text{ mS}$ で溶接を行ったときのキーホール深さの時間変化とプラズマ信号を示す。図5(a)に示す最適条件では、キーホール深さが減少する時点、すなわちレーザー出力が減少する後半部分で常にプラズマの発光が見られるのに対して、図5(b)に示す欠陥が発生する条件では、キーホール深さが減少する時に、すなわち出力減少時にプラズマの発光信号がほぼ0となる状態が持続する。したがって、溶込み深さが低下する時点、すなわちレーザー出力が減少する時間の後半部分でプラズマの発光信号がほぼ0となる頻度が多いかすくないかにより欠陥防止効果が判定できる。

## 【0022】

10

そこで、プラズマの発光信号のノイズを消すために5kHzのローパスフィルターを通過した後に、0.3Vのしきい値を設定し、これよりプラズマ信号が小さくなる状態が2mS以上持続する頻度を各位相ごとに調べた。その結果を図6に示す。図6(a)は、欠陥が最も効果的に防止できた最適条件における結果であり、出力減少期間の後半部分で発光信号がしきい値以下になる頻度が小さい。一方、欠陥発生率の高い波形図6(b)では、出力減少の後半部分でしきい値以下になる頻度が上記(a)と比較して高い。したがって、出力減少の後半部分におけるプラズマ発光がしきい値以下になる頻度を調べることにより、溶接欠陥を防止する最適波形を決定することができる。

## 【0023】

20

以上の例においては三角波によるパルス変調として、出力の立上り時間 $t_u = 10 \text{ mS}$ 、立下がり時間 $t_d = 40 \text{ mS}$ とすることが最適であることを例示しているが、この例に限られることなく、様々な波形として、その最適化、最適周波数を決定することができる。

## 【0024】

## 【発明の効果】

以上詳しく説明したとおり、この出願の発明によって、発明者がすでに提案している深溶込みレーザー溶接時に発生する溶接欠陥防止法において、防止に適した最適出力変調波形及び周波数を容易に決定することができ、厚板の高品質溶接が簡便にできるようになる。これにより、従来困難であった厚板の高品質レーザー溶接が可能となり、レーザー溶接適用分野が拡大される。

## 【0025】

30

厚板を高効率に無欠陥で溶接するための出力変調波形並びに周波数が簡便にかつ極短時間で決定できるようになり、生産ラインにおけるコスト低減が期待できる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】波形制御パルス変調波形の一例を示した図である。

【図2】プラズマもしくはフルームの発光信号の検出装置の構成を例示した図である。

【図3】プラズマ発光強度の測定例を示した図である。

【図4】波形制御した出力変調において、レーザー出力の立上がり時間と欠陥発生率の関係を例示した図である。

【図5】最適波形及び適切でない波形の元でキーホール深さ及びプラズマ発光強度の時間的な変化を測定した結果を例示した図である。

40

【図6】プラズマの発光強度がしきい値(0.3V)以下になる確率(頻度)と、パルス変調の位相の関係を例示した図である。

## 【符号の説明】

$t_u$  立上り時間

$t_d$  立下り時間

1 プラズマもしくはフルーム

2 フォトダイオード

3 記録計

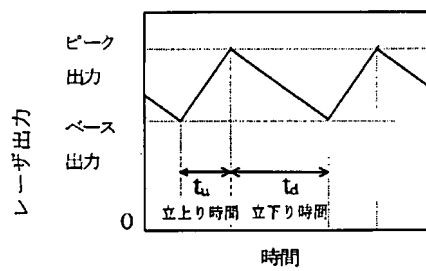
4 レーザビーム

5 放物面鏡

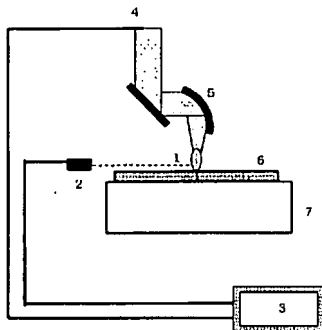
50

- 6 被溶接物  
7 ワークテーブル

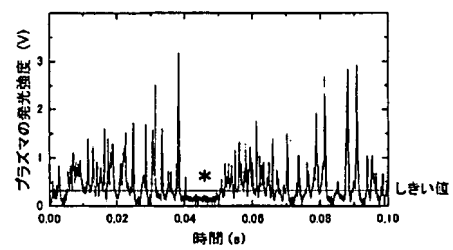
【図 1】



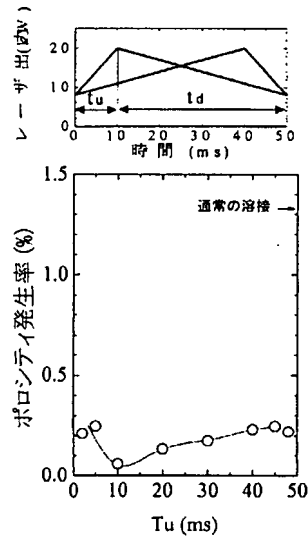
【図 2】



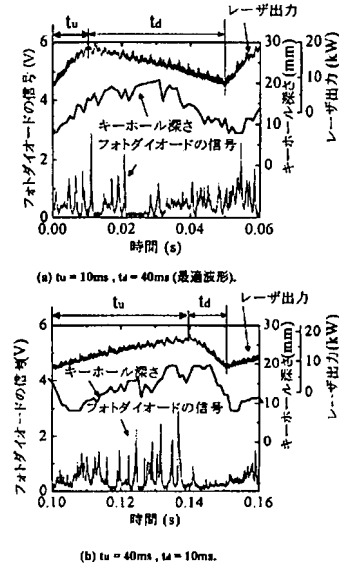
【図 3】



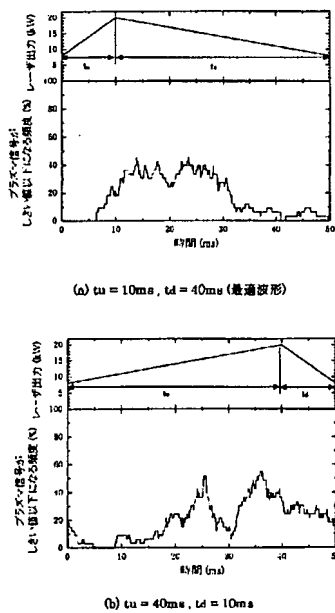
【図 4】



【図 5】



【図 6】



---

フロントページの続き

(72)発明者	川口 勲	
	茨城県つくば市千現一丁目2番1号	独立行政法人物質・材料研究機構内
(72)発明者	荒金 吾郎	
	茨城県つくば市千現一丁目2番1号	独立行政法人物質・材料研究機構内
(72)発明者	本田 博史	
	茨城県つくば市千現一丁目2番1号	独立行政法人物質・材料研究機構内
Fターム(参考) 4E068 BA00 CA02 CA04 CC01		